



12

Gebrauchsmuster

U1

- (11) Rollennummer G 91 16 631.4 = DE 4 114.806
- (51) Hauptklasse G03C 5/17
Nebenklasse(n) G21K 4/00
- (22) Anmeldetag 07.05.91
(67) aus P 41 14 806.1
- (47) Eintragungstag 08.07.93
- (43) Bekanntmachung
im Patentblatt 19.08.93
- (54) Bezeichnung des Gegenstandes
Röntgenverstärkerfolie
- (71) Name und Wohnsitz des Inhabers
Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, 7500
Karlsruhe, DE

Beschreibung

Die Neuerung betrifft eine Röntgenverstärkerfolie, die aus einem transparenten Träger und einer darauf mindestens einseitig angebrachten Röntgenleuchtstoffschicht besteht. Der Träger weist auf der Seite der angebrachten Röntgenleuchtstoffschicht eine wabenartige Zellstruktur auf. Die Zellen dieser Struktur verzünden sich von ihrem äußeren Grundriß her in den Träger hinein. Sie sind mit transparentem Bindemittel gefüllt, in dem der Röntgenleuchtstoff lagert.

Röntgenverstärkerfolien finden ihren Einsatz häufig in der medizinischen Diagnostik, bei der es neben der Qualität der photographischen Aufnahme hauptsächlich darum geht, die Belastung durch Röntgenstrahlung herabzusetzen, ohne auf Aussagekraft durch die schwachbelichtete Aufnahme verzichten zu müssen.

Eine Röntgenverstärkerfolie mit planarem Aufbau gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1 ist in der EP 0 126 564 beschrieben. Die Trägersubstanz kann für das Phosphoreszenzlicht transmittierend oder absorbierend oder reflektierend wirken.

Für die Erhöhung der Leuchtdichte wird als vorteilhaft angesehen, wenn der Träger für das von den Röntgenleuchtstoffen emittierte Licht reflektierend wirkt.

Der Aufbau der Verstärkerfolie stößt durch unerwünschte, weil unvermeidliche Strahlengänge des emittierten Lumineszenzlichts an Grenzen des Auflösungsvermögens wegen den auftretenden Unschärfeproblemen. Das Problem läßt sich folgendermaßen zusammenfassen:

- große Schichtdicke des Röntgenleuchtstoffs bedeutet hohe Intensität des Lumineszenzlichts, d.h. große Schwärzung des Röntgenfilms, aber starke Unschärfe

- kleine Schichtdicke bedeutet wenig Intensität, d.h. wenig Schwärzung, aber größere Schärfe.

Der Neuerung liegt die Aufgabe zugrunde, mit einer oder zwei Röntgenverstärkerfolien einen Film ausreichend schwärzen und gleichzeitig eine hohe Auflösung erreichen zu können.

Diese Aufgabe wird durch die im Anspruch 1 gekennzeichneten Neuerungen gelöst. Der Unteranspruch 2 gibt eine vorteilhafte Ausgestaltung der Verstärkerfolie wieder.

Nachstehend wird die Neuerung an Hand der in der Zeichnung dargestellten Ausführungsform erläutert.

Es zeigen:

Figur 1

den schematischen Schichtaufbau einer konventionellen Röntgenverstärkerfolie;

Figur 2

die grundsätzliche Wirkungsweise und den räumlichen Bereich der Unschärfe;

Figur 3a und 3b

den Einfluß der Dicke der Leuchtstoffbelegung;

Figur 4

die durch kreuzweises Bearbeiten hergestellte Pyramidenstruktur auf einer Messingoberfläche;

Figur 5

die in Kunststoff (z.B. Poly-Oxi-Methylen POM) mit Hilfe des strukturierten Messingwerkzeugs abgeformte Pyramidenstruktur;

Figuren 6a und 6b

den Vorteil einer nach der Methode der mechanischen Mikrofertigung mikrostrukturierten Röntgenverstärkerfolie mit absorptiven bzw. reflektiven Wänden gegenüber einer unstrukturierten (konventionellen);

Figur 6c

die Hervorhebung der Totalreflexion im Fall der lumineszenzlichttransparenten Zellenwand;

Figur 7

Untersuchung der Verstärkerwirkung; Anordnung der Film-Folien-Kombination im Falle der mikrostrukturierten Folie.

Arbeitet man in der Röntgendiagnostik ohne Verstärkerfolien, so trägt lediglich ein sehr geringer Teil der auf den Film auftreffenden Röntgenstrahlen zur Filmschwärzung bei. Durch eine Steigerung der Dosis läßt sich die Schwärzung deutlich verbessern. Jedoch ist das gleichzeitig mit einer höheren Strahlenbelastung verbunden. Dies kann kein Ziel sein.

Um dennoch eine bessere Filmschwärzung zu erreichen und um gleichzeitig mit niederen Dosen arbeiten zu können, werden seit einigen Jahrzehnten sogenannte Verstärkerfolien eingesetzt. Die Schwärzung des Röntgenfilms wird dann bei Einhaltung obiger Bedingungen zum größten Teil durch die Lumineszenz der Verstärkerfolie erreicht, da eine einzelne Verstärkerfolie circa zehnmal mehr Röntgenquanten absorbieren kann als der Röntgenfilm. Der Röntgenleuchtstoff der Verstärkerfolie sorgt für eine direkte Umwandlung der Röntgenstrahlenenergie in Lichtenergie. Die im Leuchtstoff absorbierten Röntgenquanten regen Elektronen an und beim Übergang auf ihr ursprüngliches Energieniveau wird sichtbares Licht ausgestrahlt, welches den Film schwärzt.

20-00

Schematisch ist der Schichtaufbau einer konventionellen Röntgenverstärkerfolie in Figur 1 dargestellt. Als Trägerfolie 1 dient eine etwa 250 μm dicke Polyesterfolie. Die Haftschrift 2 ist 10 - 30 μm dick und kann mit reflektierenden Pigmenten (z.B. MgCO_3) versetzt sein, so daß sie zusätzlich auch als Reflexionsschicht 3 wirkt. Die eigentliche Röntgenleuchtstoffschicht 4 ist je nach Folientyp zwischen 50 und 500 μm dick und besteht aus einem Gemisch aus Leuchtstoffteilchen 5 und Bindemittel 6. Die Korngröße des Leuchtstoffes liegt zwischen 5 und 10 μm . Der Bindemittelgehalt der lumineszierenden Schicht 4 beträgt ca. 5 - 10 Gew%. Bindemittel 6 können verschiedene transparente Lackharze, wie z.B. Mischpolymerisate aus Vinylchlorid und Vinylacetat oder PMMA sein. Eine Schutzschicht 7, die weniger als 10 μm dick ist, schützt die Leuchtstoffschicht 4 vor mechanischen und chemischen Einflüssen und besteht ebenfalls aus einem gut transparenten Kunststoff, z.B. PVC.

Fig. 2 zeigt schematisch die Wirkungsweise von Röntgenverstärkerfolien.

Stark vereinfacht dargestellt, trifft dabei der Röntgenstrahl 8 auf einen Kristall 5 des Röntgenleuchtstoffes, wobei das Röntgenquant absorbiert wird. Beim Übergang der angeregten Elektronen auf ihr ursprüngliches Energieniveau wird sichtbares Licht 12 abgestrahlt, welches teilweise den Film schwärzt. Die Lichtemission der Verstärkerfolie 10 wird dabei jeweils der Filmemulsion angepaßt. Das abgestrahlte Licht 12 wird auf seinem Wege durch die Leuchtstoffschicht 4 an den Leuchtkristallen 5, dem Bindemittel 6 und an Luft mehrfach gebrochen und abgelenkt, so daß daraus eine Unschärfe 11 resultiert.

Um eine möglichst gute Ausbeute zu erhalten, verwendet man heutzutage doppelseitig belichtbare Röntgenfilme, wobei der Film von zwei Verstärkerfolien, einer Vorder- und einer Rückfolie, umgeben ist. Dies hat den Vorteil, daß die nicht in der

Vorderfolie absorbierten Röntgenquanten noch im Leuchtstoff der Rückfolie absorbieren können. Das dort erzeugte sichtbare Licht schwärzt den Röntgenfilm von der Unterseite her (siehe Siemens-Literatur, Seiten 215 ff, "Bildgebende Systeme für die medizinische Diagnostik, Grundlagen, Technik, Bildgüte", Herausgeber: Erich Krestel).

Die Unschärfe einer Röntgenaufnahme setzt sich im wesentlichen aus der geometrischen Unschärfe, der Bewegungsunschärfe und der Film-Folien-Unschärfe zusammen.

Die geometrische Unschärfe resultiert aus der Größe und Form des nicht beliebig kleinen Brennfleckes und hängt vom Abstand des Brennfleckes bis zum Bild ab. Die Bewegungsunschärfe, die sich aus der natürlichen Bewegung eines lebenden Objektes ergibt, kann durch kurze Belichtungszeiten kleingehalten werden.

Als Hauptursache für die Unschärfe 11 bei einer Röntgenfilm-Verstärkerfolien-Kombination ist die Reflexion des Lumineszenzlichtes 12 an der Reflexionsschicht 3, an den Leuchtstoffkristallen 5, an Bindemitteln 6 und an der noch in der Folie 10 vorhandenen Luft aufgrund der verschiedenen Brechungsindizes anzusehen. Mit wachsender Schichtdicke nimmt die Lichtstreuung innerhalb der Verstärkerfolie 10 zu und daraus resultiert eine größere Unschärfe 11 als bei dünner Leuchtstoffbelegung (vgl. Fig. 3a und 3b). Dünne Folien zeichnen sich durch eine geringe Unschärfe 11 aber durch einen hohen Dosisbedarf aus. Sie werden als höchstauflösende Folien bezeichnet und im allgemeinen bei Mammographie-Aufnahmen eingesetzt. Diese Folien sind maximal 50 μm dick. Röntgenverstärkerfolien, wie sie z. B. bei Röntgenstandardaufnahmen (Skelettaufnahmen) eingesetzt werden, sind wesentlich dicker (ca. 200 μm). Sie benötigen eine geringere Dosis. Das erhaltene Röntgenbild besitzt jedoch eine größere Unschärfe als die höchstauflösenden Folien (vgl. Fig. 3b).

Zur Erhöhung des Auflösungsvermögens bei der Röntgendiagnostik müssen die bei den konventionellen Verstärkerfolien auftretenden Unschärfen beseitigt bzw. vermindert werden. Dies läßt sich mit einem mikrostrukturierten Folientyp erreichen. Die Trägerfolie 1 ist dabei mit einer Vielzahl von Mikrozellen versehen.

Das Einbringen solcher Mikrostrukturen in die Trägerfolie erfolgt durch Kunststoffabformung mit der Methode des Spritzgießens eines Werkzeuges, das auf seiner Oberfläche die inverse Mikrostruktur, z.B. vierseitige Pyramiden, enthält.

Die Herstellung solcher Mikrostrukturen beruht auf dem Verfahren der mechanischen Mikrofertigung (DE 3 709 278, DE 3 842 610) durch kreuzweises spanabhebendes Bearbeiten der metallischen Substrate mit hochgenau profilierten Mikrodiamanten.

Figur 4 zeigt schematisch eine durch kreuzweises Bearbeiten mit einem dreieckförmigen Mikrodiamanten hergestellte Pyramidenstruktur auf einer Messingoberfläche. Das Rastermaß beträgt $100\text{ }\mu\text{m}$ und die Höhe der Pyramiden $250\text{ }\mu\text{m}$. Auf einer Fläche von $2\text{ cm} \times 3\text{ cm}$ befinden sich somit 60 000 Mikropyramiden. Rastermaße bis $50\text{ }\mu\text{m}$ sind schon realisiert, ebenso wie Formatvergrößerung. Das Abformen speziell in Kunststoff läßt sich mit bekannten Spritzgießverfahrenstechniken kostengünstig erreichen.

In Fig. 5 ist die in dem Kunststoff POM von dem Messingwerkzeug abgeformte Pyramidenstruktur schematisch dargestellt. Das Rastermaß beträgt wie oben $100\text{ }\mu\text{m}$, die Stegbreite 13 an der Oberfläche $7\text{ }\mu\text{m}$ und die Tiefe der pyramidenförmigen Vertiefung liegt bei $250\text{ }\mu\text{m}$. Eine tausendfache Abformung in Kunststoff verlief ohne Beanstandung.

Fig. 6a zeigt einen schematischen Schnitt durch eine abgeformte mikrostrukturierte Kunststoffträgerfolie 1 mit reflektiven Zellwänden. Sie besteht aus dem mikrostrukturierten Bereich 14 und dem massiven Bereich 15. Die pyramidenförmigen Vertiefungen 16 werden mit Röntgenleuchtstoff gefüllt. Von großem Einfluß ist dabei die Größe der Leuchtstoffteilchen bzw. der Leuchtstoffkristalle. Sie müssen klein sein, damit eine dichte Packung in den Zellen 16 erfolgen kann. Als Bindemittel kommen transparente Lackharze, z. B. Mischpolymerisate aus Vinylchlorid und Vinylacetat, Polyvinylbutylal, Acetylcellulose oder Polymethylacrylat in Frage. Zur Veranschaulichung der Unschärfenausdehnung ist nochmals eine konventionelle Folie gleicher effektiver Leuchtstoffdicke danebengestellt, bei der die laterale Lichtausbreitung nicht verhindert wird (Fig. 6b).

Ist das Material der Trägerfolie 1 lichtdurchlässig und besitzt es einen kleineren optischen Brechungsindex n_2 als das Gemisch (m) aus Röntgenleuchtstoff und Bindemittel 4 in den Zellen 16, so läßt sich für einen bestimmten Teil der von einem Leuchtstoffkristall emittierten Lumineszenzstrahlung die Totalreflexion an der Zellwand 17 in dem Sinn ausnutzen, daß dieser Lichtanteil zusätzlich aus der Zellöffnung austritt und nicht in benachbarte Zellen eintritt, wodurch die Unschärfe vergrößert werden würde.

Dies ist zur Erläuterung in Figur 6c hervorgehoben. Ab einem gewissen Grenzwinkel α gibt es für die Lumineszenzstrahlung Totalreflexion an der Zellwand. Dadurch wird erreicht, daß sich die maximale Unschärfe im wesentlichen auf die Öffnung der Zelle 16 in der Trägerfolie 1 begrenzt.

Eine weitere Maßnahme, das Lumineszenzlicht vor dem Eindringen in die Trägerfolie und damit in die benachbarten Zellen zu hindern, besteht darin, die Zellwände metallisch zu bedampfen oder zu besputtern.

Die mikrostrukturierte Röntgenverstärkerfolie zeigt in einem Vergleichstest mit einer hochauflösenden konventionellen Folie aus der Industrie mit gleicher effektiver Leuchtstoffdicke hinsichtlich Schwärzung und Ortsauflösung hervortretende Eigenschaften.

Bei gleichen Belichtungsdaten, nämlich 40 kV, 150 mA, 0.4 sec., zeigt die vergleichende Messung für die Filmschwärzung folgendes Ergebnis:

Konventionelle Folie	Mikrostrukturierte Folien	
	unbehandelte Zellen	metallisierte Zellen
1,3	1,7-2,1	1,2-1,4

Für die Ortsauflösung (Linienpaare pro mm) wurde gemessen:

Konventionelle Folie	Mikrostrukturierte Folien	
	unbehandelte Zellen	metallisierte Zellen
11,1	12,5	16,6

Fig. 7 zeigt schematisch die Untersuchungsanordnung zur Messung der Verstärkerwirkung (Filmschwärzung) und des Auflösungsvermögens (Ortsauflösung) beim Einsatz mikrostrukturierter Verstärkerfolien. Die Folien werden hierbei als Vorderfolien benutzt und waren demzufolge zwischen der Röntgenquelle und dem Röntgenfilm aufgestellt. Der Röntgenleuchtstoff 4 in den Zellen hatte eine effektive (mittlere) Höhe von etwa 115 μm . Die zum Vergleich herangezogene konventionelle

Verstärkerfolie besaß eine Leuchtstoffdicke von 85 μm . Wesentlich ist, daß die Öffnungen der Zellen 16 in der Trägerfolie zum Röntgenfilm 9 hingewendet sind und dort aufliegen.

Es kann festgestellt werden, daß die nach der Methode der Mechanischen Mikrotechnik und durch Abformung hergestellten mikrostrukturierten Röntgenverstärkerfolien deutlich bessere Eigenschaften hinsichtlich Lichtverstärkungsvermögen und Auflösungsvermögen zeigen als konventionelle nichtstrukturierte Verstärkerfolien mit gleicher effektiver Leuchtstoffdicke. Durch das Aufbringen einer Metallschicht auf die Oberflächen der Mikrozellen gelingt es, lichtundurchlässige Mikrozellen zu erzeugen, so daß das Licht nicht in die Nachbarzellen gelangen kann. Die in diesen Fällen beobachtete Linienauflösung von bis zu 16 LP/mm bestätigt die Richtigkeit der Grundüberlegung, daß durch die räumliche Begrenzung der Lichtaustrittsöffnung eine Auflösungsverbesserung tatsächlich erreicht wird.

Die im Vergleich zu einer konventionellen Folie sehr hohe Verstärkung der unbehandelten Strukturfolie und die dennoch gute Auflösung von 12 Linienpaare/mm liefern Hinweise darauf, daß die Pyramidenstruktur eine erhöhte Lichtausbeute in Richtung der Öffnung der Mikrostrukturen bewirkt, wodurch eine erwünschte Absenkung der Röntgendosis ermöglicht wird.

Bezugszeichenliste

- 1 Träger, Trägerfolie
- 2 Haftschrift
- 3 Reflexionsschicht
- 4 Röntgenleuchtstoffschrift, Lumineszenzschicht, Leuchtstoffschrift, Zellfüllung
- 5 Leuchtstoffteilchen, Leuchtstoffkristall, Kristall
- 6 Bindemittel
- 7 Schutzschicht
- 8 Röntgenstrahl
- 9 Film, Röntgenfilm
- 10 Verstärkerfolie
- 11 Unschärfe
- 12 Licht, Lumineszenzlicht
- 13 Stegbreite
- 14 mikrostrukturierter Bereich
- 15 massiver Bereich
- 16 Zelle
- 17 Zellwand
- 18 Zellöffnungsbreite
- n_1 Dichte, Medium
- n_2 Dichte, Medium

Schutzansprüche

1. Röntgenverstärkerfolie bestehend aus einem transparenten Träger und einer darauf mindestens einseitig angebrachten Röntgenleuchtstoffschicht, wobei der Träger auf der Seite der angebrachten Röntgenleuchtstoffschicht eine wabenartige Zellstruktur aufweist, bei der sich die Zellen vom äußeren Grundriß in den Träger hinein verjüngen und diese mit in transparentem Bindemittel lagernden Röntgenleuchtstoff gefüllt sind, gekennzeichnet durch die Neuerungen, daß
 - die optische Dichte (n_1), der aus Röntgenleuchtstoff (5) und Bindemittel (6) bestehenden Füllung (4) gegenüber der optischen Dichte (n_2) des Trägers (1) größer ist, wodurch die optische Totalreflektion an der Grenzschicht beider Medien (n_1 , n_2) gemäß dem Verhältnis $n_1:n_2$ entsprechend einstellbar ist
 - die Zellen pyramidenförmige Struktur haben und das Verhältnis aus Pyramidenhöhe zu Seitenlänge der Pyramiden-grundfläche im Bereich 2 - 3 liegt.
2. Röntgenverstärkerfolie nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Öffnung der Zellen 16 zu einem Röntgenfilm (9) hingewendet sind und dort aufliegen.

Fig. 6c

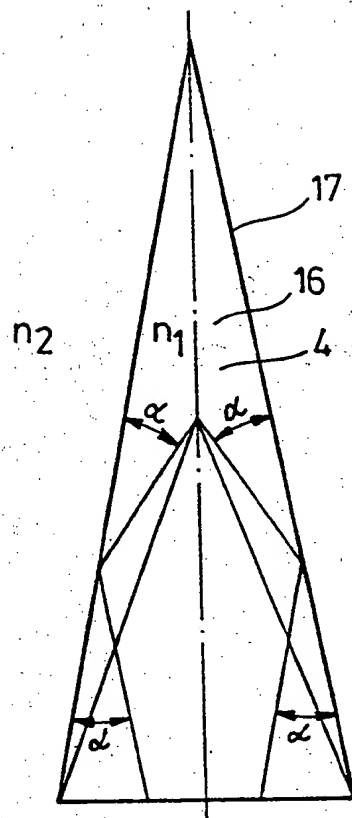


Fig. 7

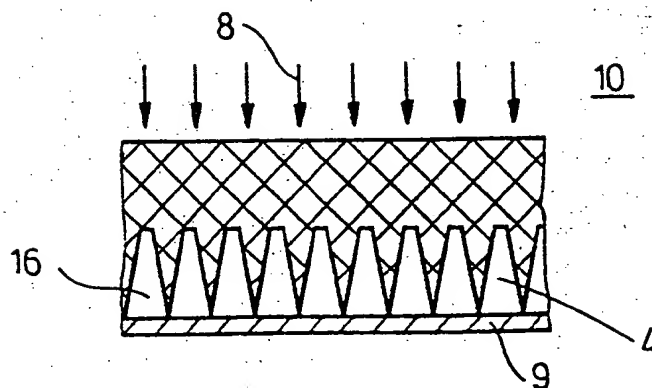


Fig. 6a

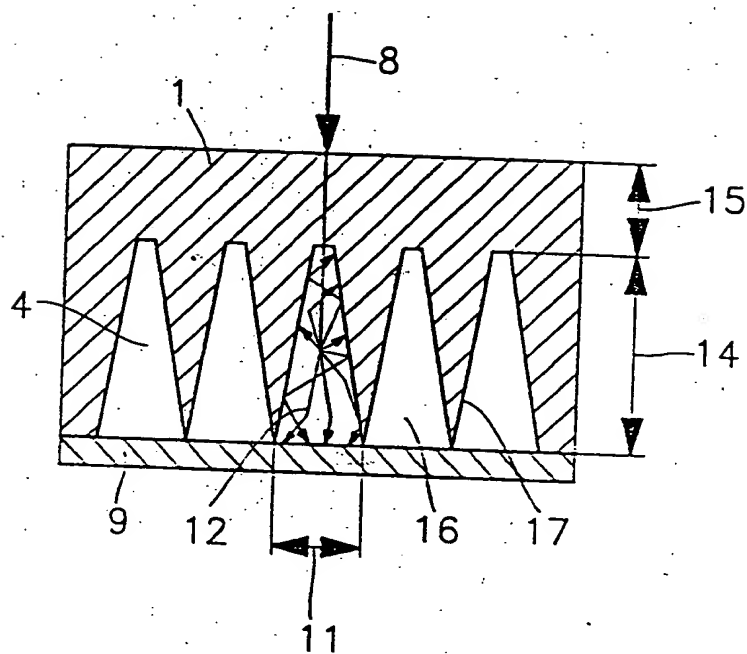


Fig. 6b

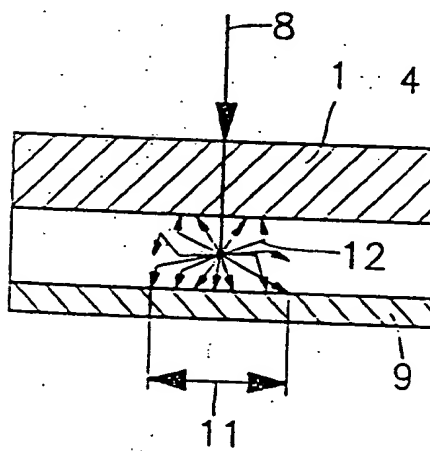


Fig. 4

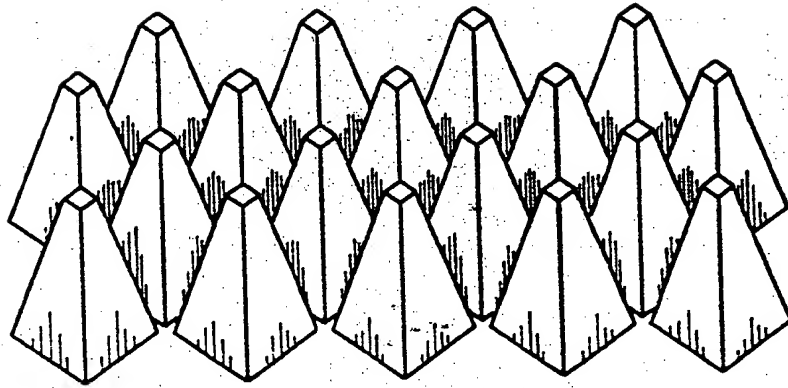


Fig. 5

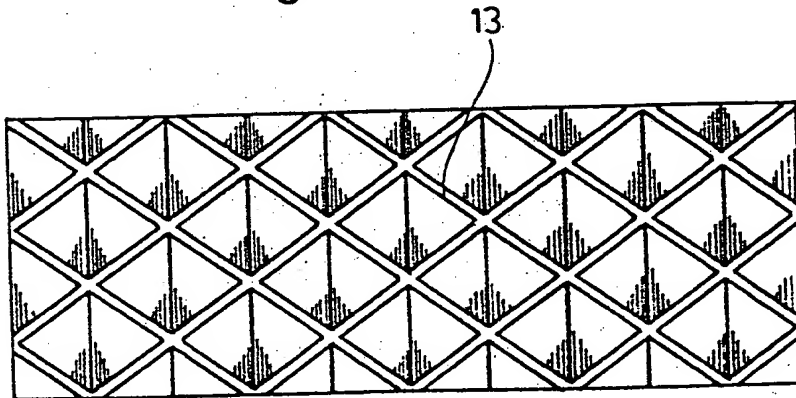


Fig. 3a

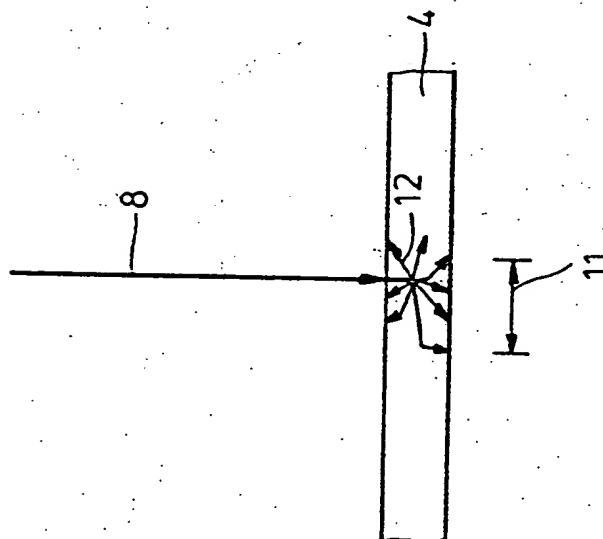


Fig. 3b

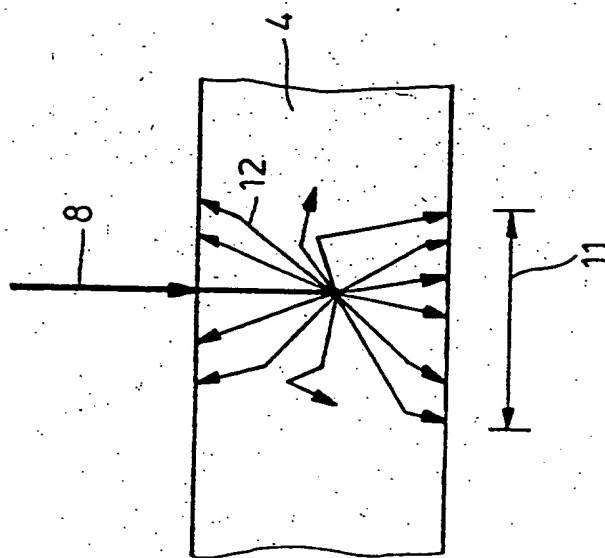


Fig. 1

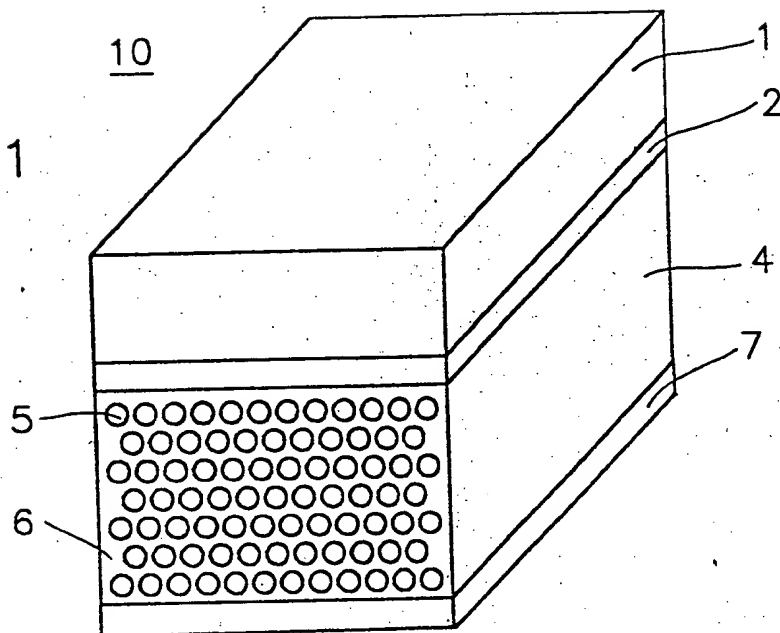


Fig. 2

